

# **TARIFS DE CUBAGE POUR LES ESPECES DE BOIS D'OEUVRE DE LA FORET DE BADENOU (Nord Côte d'Ivoire)**

Exposé présenté à la Cinquième réunion tripartite  
(Burkina Faso - Côte d'Ivoire - Mali)  
des 21 au 23 mars 1995 à Korhogo

Dominique LOUPPE  
Chercheur CIRAD-Forêt  
IDEFOR-DFO  
Côte d'Ivoire

---

## **INTRODUCTION**

Dans le cadre de l'aménagement de la forêt de Badénou, la SODEFOR (Société pour le Développement des forêts) prévoit la vente sur pied, après martelage, du bois d'oeuvre. Afin de connaître le volume qui sera mis en vente par adjudication, la SODEFOR a besoin de tarifs de cubage précis pour les principales espèces de bois de sciage.

La mise au point de ces tarifs a été réalisée par l'IDEFOR-DFO (Institut des forêts - Département foresterie) en profitant des abattages effectués pour l'ouverture des pare-feu au sein du massif forestier.

## **METHODOLOGIE**

### **Prise des données**

Rappelons que la variabilité du volume augmente en général avec la taille de l'arbre dont la principale référence est la circonférence du fût à 1,30 m du sol ( $C_{130}$ ). Il est donc plus utile pour la qualité du tarif de mesurer un gros arbre qu'un petit. Pour avoir un échantillonnage homogène, 10 classes de surface terrière ont été définies. (Tableau 1). Dans chacune de ces classes, 8 arbres échantillons ont été récoltés. L'élaboration des tarifs s'est donc faite sur la base de 80 individus par espèce.

**Tableau 1** : Limites des classes d'échantillonnage : en surface terrière (g exprimé en cm<sup>2</sup>), en diamètre (d en cm) et en circonférence (c en cm)

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>g (cm<sup>2</sup>)</b>	78 à 380	381 à 706	707 à 1017	1018 à 1320	1321 à 1590	1591 à 1885	1886 à 2206	2207 à 2551	2252 à 2827	>2827
<b>d (cm)</b>	10 à 21	22 à 29	30 à 35	36 à 40	41 à 44	45 à 48	49 à 52	53 à 56	57 à 59	> 60
<b>C (cm)</b>	32 à 69	70 à 94	95 à 113	114 à 128	129 à 141	142 à 153	154 à 166	167 à 179	180 à 188	>188

Chaque arbre est mesuré en circonférence, avant abattage, à 0,30 et 1,30 m du sol.

Après abattage, le fût et les branches maîtresses sont mesurées en circonférence mètre par mètre à partir du repère apposé à 1,30 m sur l'arbre debout. Tout le petit bois, non mesurable directement, est débité en tronçons de 1 m de long et enstéré. Le diamètre de chacun des billons composant le tas est mesuré à chaque extrémité. Le petit bois a été mesuré jusqu'à une découpe moyenne fin bout de 4 cm de diamètre.

Comme les arbres sont disséminés, il n'a pas été possible - du moins avec une fiabilité suffisante pour en faire état ici - de calculer le coefficient d'empilage du bois de feu.

Les mesures d'épaisseur d'écorce et d'épaisseur d'aubier n'ont pas été faites. Comme les taux d'écorce et d'aubier varient généralement en fonction de l'individu et du niveau de la mesure, il aurait été nécessaire d'effectuer plusieurs mesures par arbre. Il nous a semblé plus judicieux d'attendre les mesures qui seront effectuées au moment du sciage des grumes. Ces mesures seront plus précises. De plus, le rendement au sciage pourra également être calculé à ce moment.

## Calcul des volumes

**Tous les volumes ci-après sont des volumes sur écorce.**

La formule de calcul des volumes qui a été retenue est celle de Smalian :

$$V = \frac{1}{4 \pi} \left( \frac{C_1^2 + C_2^2}{2} \right) L \quad \text{ou} \quad V = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right) L$$

Deux "précautions" ont été prises pour éviter des surestimations de volume :

- le calcul des volumes s'effectue à partir de 30 cm du sol: le volume de la souche n'est donc pas comptabilisé
- en raison de la présence fréquente d'empattements ou de contreforts, la circonférence à 0,30 n'a été considérée, pour le calcul du volume, que si elle est inférieure à celle à 1,30 m augmentée de 10 cm. Dans tous les autres cas, elle a été estimée à cette valeur maximale.

### Mise au point des tarifs de cubage

Les tarifs de cubage calculés ici sont des régressions pondérées qui présentent l'avantage de pouvoir estimer avec précision l'intervalle de confiance du volume du peuplement cubé. Ce sont donc des tarifs peuplement.

#### Pondération

La variance du volume des arbres augmente avec la circonférence ou avec  $C^2H$  ( $H$  étant la hauteur) ; on a en effet :

$$Var V = k (C^2)^e \quad ou \quad Var V = k' (C^2H)^{e'}$$

où  $k$ ,  $k'$  et  $e$ ,  $e'$  sont des constantes. En donnant un poids  $W_i$  adéquat au volume on obtient une variable transformée de variance égale à 1. Après cette transformation, il est possible d'estimer correctement la précision avec laquelle le tarif obtenu cube le volume d'un peuplement. Le poids que l'on donne aux volumes est égal à :

$$w_i = \frac{1}{(C^2)^e} \quad ou \quad w_i = \frac{1}{(C^2H)^{e'}}$$

selon que l'on veuille établir un tarif à une ou deux entrées. Il est donc indispensable d'estimer la valeur de  $e$  avant d'établir un tarif par régression pondérée.  $e$  est généralement voisin de 1 ou de 2. On se limitera à une de ces deux valeurs afin de ne pas avoir des puissances non entières qui compliqueraient l'utilisation des tarifs et surtout l'estimation de l'intervalle de confiance du volume.

Sept tarifs par espèce ont ainsi été élaborés : ils donnent le volume total, le volume grume et le volume bois de feu en fonction d'une (Circonférence à 1,30m) ou deux ( $C^2H$ ) entrées. Le septième tarif permet d'estimer le volume grume en fonction de la circonférence à 1,30 m et de la longueur (ou hauteur) de la grume.

D'autres relations ont été calculées ; elles concernent :

La **hauteur totale en fonction de la circonférence** à 1,30 m dont la meilleure estimation est généralement donnée par l'équation:

$$\text{Log } H = a + b \text{ Log } C$$

Il y a une grande dispersion des valeurs autour de la courbe de régression. Ceci est lié au fait que la relation  $H = f(C)$  varie en fonction des classes de fertilité du sol. Sur les meilleurs sols, la hauteur est supérieure pour une même circonférence. Les courbes présentées se rapprochent sans doute de celle correspondant à un sol de fertilité moyenne.

La **hauteur de la première fourche** (ou grosse branche) **en fonction de la circonférence** à 1,30 m. La hauteur de la première fourche est peu liée à la circonférence : les coefficients de détermination des différentes régressions testées dépassent rarement 0,2. Néanmoins, nous avons présenté graphiquement les meilleurs ajustements obtenus - même s'ils ne sont pas significatifs - pour montrer la tendance. Si la courbe est horizontale ou presque, la hauteur de fourche est caractéristique de l'espèce. S'il y a une tendance ascendante ou descendante en fonction de la circonférence, on est contraint d'émettre certaines hypothèses; par exemples :

- les hauteurs fourches plus élevées chez les jeunes sujets, laissent supposer que les vieux arbres se sont développés dans un milieu plus ouvert (par exemple une jachère) que les jeunes
- les hauteurs fourches moins élevées chez les jeunes arbres, suggèrent l'hypothèse d'une augmentation de la fréquence des feux de brousse au cours des dernières décennies. Ceux-ci auraient empêché le perchis, en détruisant les bourgeons terminaux, de se développer en tiges sans fourche.

## TARIFS PAR ESPECE

### Equations de cubage pour *Afzelia africana*

Tarifs à une entrée	
Volume total	Volume total = $0,1271 - 0,5633 C + 1,0608 C^2$
Volume grume	Volume grume = $- 0,9121 + 1,3419 C - 0,1806 C^2$
Volume bois de feu	Volume bois de feu obtenu par différence
Tarifs à deux entrées	
Volume total	Volume total = $- 0,0019 + 0,04846 C^2H$
Volume grume (1)	Volume grume = $- 0,6023 + 0,2531 CH^{1/2} - 0,00566 C^2H$
Volume grume (2)	Volume grume = $0,0782 + 0,05665 C^2H_{\text{grume}}$
Volume bois de feu	Volume bois de feu obtenu par différence

(1) : volume calculé en prenant comme entrées la circonférence et la hauteur totale

(2) : volume calculé avec comme seconde entrée la hauteur de la grume.

**Note** : le volume total calculé ici ne prend pas en compte le volume de la souche (entre 0 et 30 cm), ni le volume apparent lié à la présence d'empattements. Bien que des équations de cubages aient été établies pour le bois de feu nous ne les présentons pas ici car il est plus aisé et plus fiable d'estimer le volume bois de feu par différence entre le volume total (obtenu par les tarifs à une ou deux entrées) et le volume grume (calculé préférentiellement par le tarif à deux entrées :  $C_{130}$  et  $H_{\text{grume}}$ ).

### Equations de cubage pour *Anogeissus leiocarpus*

Tarifs à une entrée	
Volume total	= $- 0,0826 + 0,8633 C^2$
Volume grume	= $- 0,3309 - 0,05789 C + 0,6068 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	= $0,0129 + 0,03608 C^2H$
Volume grume (1)	= $- 0,2179 + 0,02278 C^2H$
Volume grume (2)	= $0,0664 + 0,05309 C^2H_{\text{grume}}$

**Equations de cubage pour *Daniellia oliveri***

Tarifs à une entrée	
Volume total	= $0,1842 - 0,8314 C + 1,2024 C^2$
Volume grume	= $- 0,1819 + 0,3907 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	= $- 0,0061 + 0,04508 C^2H$
Volume grume (1)	= $- 0,0260 + 0,01960 C^2H$
Volume grume (2)	= $0,0210 + 0,06205 C^2H_{\text{grume}}$

**Equations de cubage pour *Diospyros mespiliformis***

Tarifs à une entrée	
Volume total	= $0,0602 - 0,3299 C + 0,8604 C^2$
Volume grume	= $- 0,2893 + 0,5090 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	= $- 0,0203 + 0,03694 C H^{1/2} + 0,03383 C^2H$
Volume grume (1)	= $- 0,0715 + 0,02370 C^2H$
Volume grume (2)	= $- 0,0982 + 0,1066 C (H_{\text{grume}})^{1/2} + 0,03628 C^2H_{\text{grume}}$

**Equations de cubage pour *Isoberlinia doka***

Tarifs à une entrée	
Volume total	= $0,1355 - 0,6999 C + 1,3266 C^2$
Volume grume	= $- 0,7131 + 1,0422 C - 0,006513 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	= $- 0,2186 + 0,1346 C H^{1/2} + 0,03615 C^2H$
Volume grume (1)	= $- 0,3554 + 0,1682 C H^{1/2} + 0,003023 C^2H$
Volume grume (2)	= $0,0408 + 0,06187 C^2H_{\text{grume}}$

### Equations de cubage pour *Khaya senegalensis*

Tarifs à une entrée	
Volume total	= $0,3207 - 1,1957 C + 1,4870 C^2$
Volume grume	= $- 0,3972 + 0,6291 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	= $- 0,00485 + 0,04211 C^2H$
Volume grume (1)	= $- 0,1743 + 0,02705 C^2H$
Volume grume (2)	= $0,0498 + 0,05757 C^2H_{\text{grume}}$

### Equations de cubage pour *Pterocarpus erinaceus*

Tarifs à une entrée	
Volume total	= $0,0635 - 0,3949 C + 0,9617 C^2$
Volume grume	= $- 0,0017 - 0,2530 + 0,4755 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	= $0,0016 + 0,04267 C^2H$
Volume grume (1)	= $- 0,0451 + 0,01889 C^2H$
Volume grume (2)	= $- 0,0687 + 0,08112 C (H_{\text{grume}})^{1/2} + 0,04693 C^2H_{\text{grume}}$

### Espèces "secondaires"

Pour ces essences secondaires, les équations de cubage n'ont généralement pas été calculées par régression pondérée.

### Equations de cubage pour *Bombax costatum*

Tarif à une entrée	
Volume total	= $- 0,0969 + 0,6925 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	= $0,0300 + 0,03880 C^2H$
Volume grume (2)	= $0,1749 + 0,1801 C (H_{\text{grume}})^{1/2} + 0,0249 C^2H_{\text{grume}}$

### Equations de cubage pour *Detarium microcarpum*

<b>Tarif à une entrée</b>
Volume total = $0,0199 + 0,5703 C^3$
<b>Tarif à deux entrées</b>
Volume total = $- 0,0012 + 0,05297 C^2H$

### Equations de cubage pour *Lophira lanceolata*

<b>Tarif à une entrée</b>
Volume total = $0,0354 + 0,5811 C^3$
<b>Tarifs à deux entrées</b>
Volume total = $- 0,1135 + 0,05583 C^2H$
Volume grume (2) = $0,0269 + 0,06204 C^2H_{\text{grume}}$

### Equations de cubage pour *Parkia biglobosa*

<b>Tarif à une entrée</b>
Volume total = $0,0935 + 0,4392 C^3$
<b>Tarif à deux entrées</b>
Volume total = $0,0173 + 0,04488 C^2H$

### Equations de cubage pour *Prosopis africana*

<b>Tarif à une entrée</b>
Volume total = $- 0,0128 + 0,2368 C^2 + 0,3298 C^3$
<b>Tarifs à deux entrées</b>
Volume total = $- 0,0128 + 0,04263 C^2H$
Volume grume (2) = $0,0001 + 0,06219 C^2H_{\text{grume}}$



### Equations de cubage pour *Vitellaria paradoxa*

Tarif à une entrée	
Volume total	$= - 0,0735 + 0,7499 C^2$
Tarifs à deux entrées	
Volume total	$= - 0,0959 + 0,08538 C H^{1/2} + 0,03479 C^2 H$
Volume grume (2)	$= - 0,1611 + 0,1547 C (H_{\text{grume}})^{1/2} + 0,03347 C^2 H_{\text{grume}}$

Le graphique 1 présente les tarifs de cubage à une entrée pour les essences principales ; le graphique 2, les tarifs à deux entrées. Leur analyse permet de mettre en évidence des différences de comportement entre espèces :

Par exemple, *Anogeissus leiocarpus* :

- dans les tarifs à une entrée, cette espèce présente, pour les petites circonférences, un volume plus important que les autres essences
- dans les tarifs à deux entrées, *Anogeissus* montre, pour un  $C^2H$  équivalent, un volume inférieur.

Ceci peut s'expliquer par deux faits :

- *Anogeissus* est généralement plus élancé que les autres espèces - ce que l'on peut constater dans le graphique 4. Il a ainsi un volume plus important pour les petites circonférences. Mais pourquoi pas pour les grandes?
- Comme il fait peut de branches et que celles-ci sont très fines, cet arbre a un volume total inférieur aux autres espèces, fortement branchues, pour une même circonférence de plus de 140 cm. Cette faible branchaison explique également un volume moindre à  $C^2H$  équivalent.

Le graphique 3, présente les tarifs de cubage à deux entrées ( $C^2H$ ) pour le volume grume. Deux courbes s'infléchissent nettement : celles de *Afzelia africana* et celle de *Isobertinia doka*. Elles montrent ainsi que ces deux espèces ont un comportement particulier : une fois que le fût est formé, elles développent un houppier fortement branchu. Au contraire des autres espèces dont le fût, sauf accident, continue à s'allonger avec les années. Ces dernières auraient donc un assez bon élagage naturel.

Le graphique 5, à titre d'illustration, montre la dispersion des hauteurs totales et des hauteurs fourches autour de la courbe de régression avec la circonférence. Il permet également de visualiser la grande variabilité du rapport (Volume grume/volume total). C'est pour cette raison qu'il est préférable d'utiliser les tarifs à deux entrées ( $C^2H_{\text{total}}$ )

pour le volume total et ( $C^2H_{\text{grume}}$ ) pour le volume grume. Le volume bois de feu sera déduit par différence.

Le graphique 6 compare, pour 6 espèces, les tarifs à une entrée établis dans la forêt de Badénou à ceux mis au point au Mali. Pour trois espèces (*Daniellia*, *Isoberlinia* et *Khaya*) ces tarifs concordent. Pour les trois autres (*Azalia*, *Bombax* et *Pterocarpus*), les tarifs maliens donnent, pour une même circonférence, des volumes supérieurs. L'explication qui s'impose est qu'au Mali, zone climatiquement moins favorisée, ces espèces se trouvent presque exclusivement sur sols frais, plus fertiles. En conséquence, les arbres maliens ont un rapport hauteur/circonférence supérieur à celui des arbres de la forêt de Badénou.

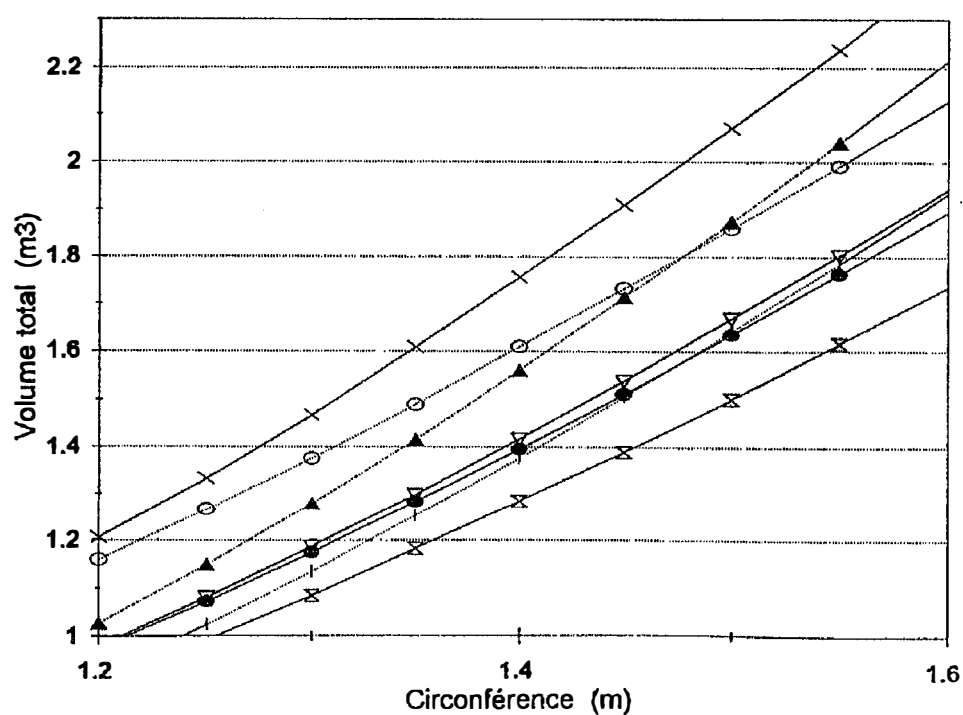
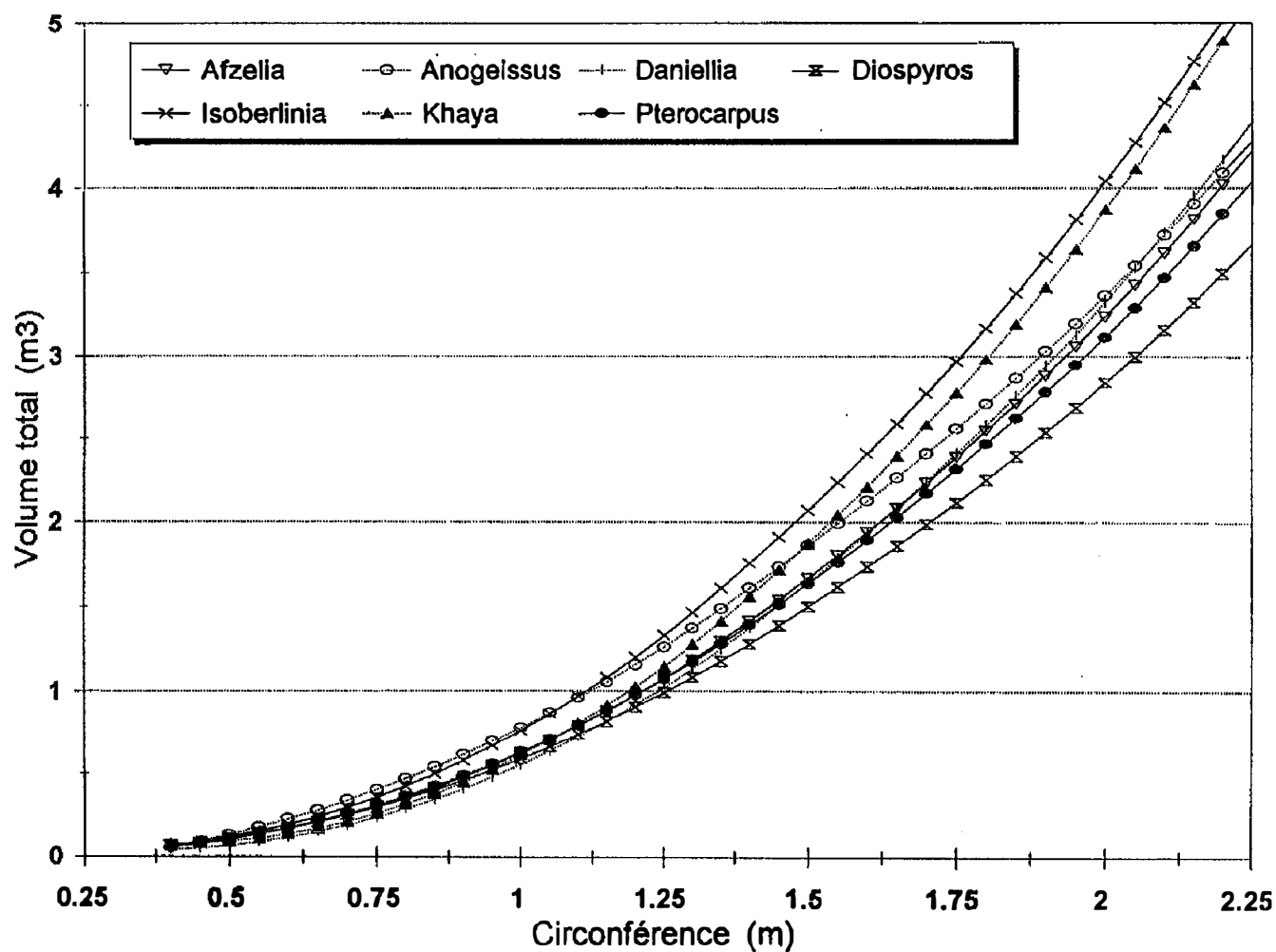
## CONCLUSION

Les tarifs de cubage doivent être établis pour chaque espèce et pour chaque localisation. Du moins pour les tarifs à deux entrées! Pour les tarifs à une entrée, il est souhaitable de posséder des tarifs pour chaque classe de fertilité dans une zone donnée. L'établissement de ces tarifs demandera encore beaucoup de travail aux forestiers.

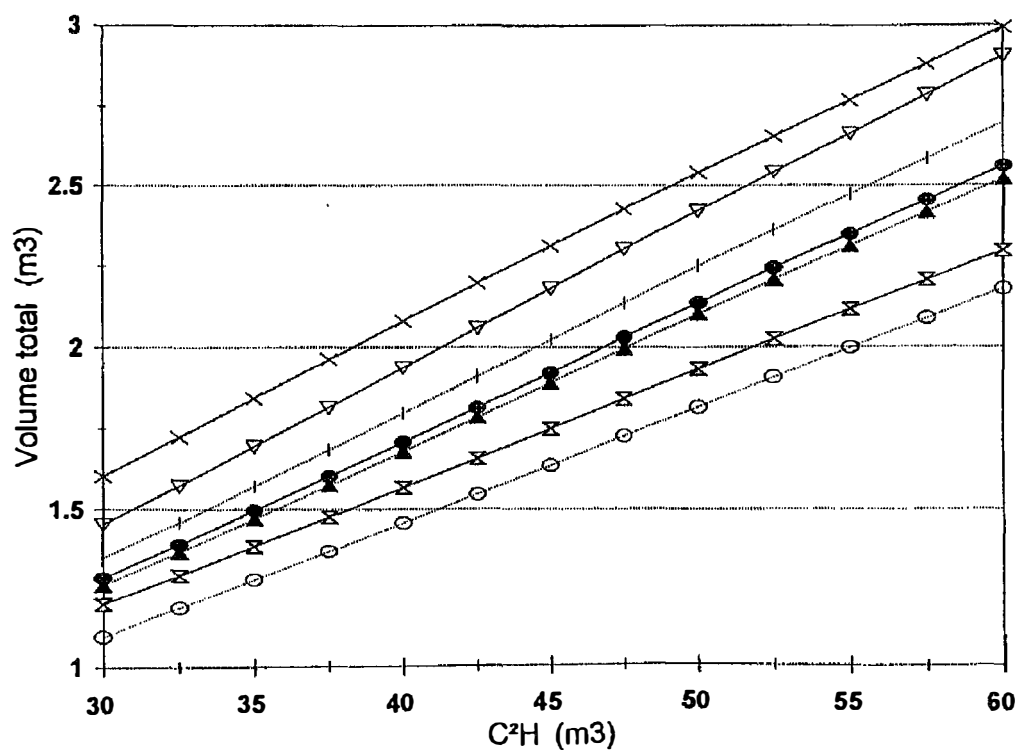
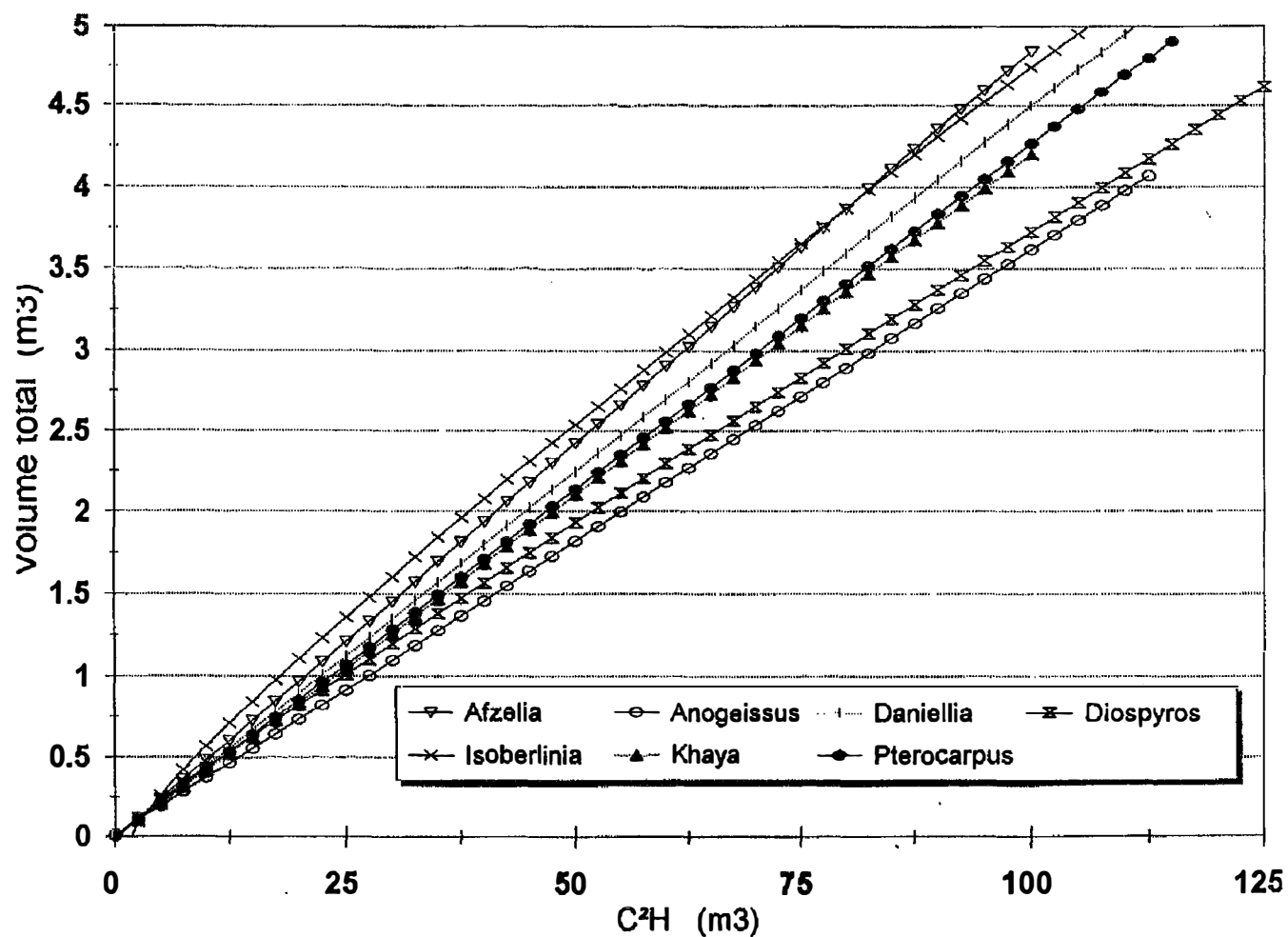
Dans l'attente, il est souhaitable de n'utiliser que des tarifs à deux entrées, valables pour une plus large gamme de stations. Il est alors conseillé d'utiliser les tarifs à deux entrées ( $C^2H_{\text{total}}$ ) pour le volume total et ( $C^2H_{\text{grume}}$ ) pour le volume grume. Le volume bois de feu sera déduit par différence.

## Tarifs de cubage à une entrée : volume total

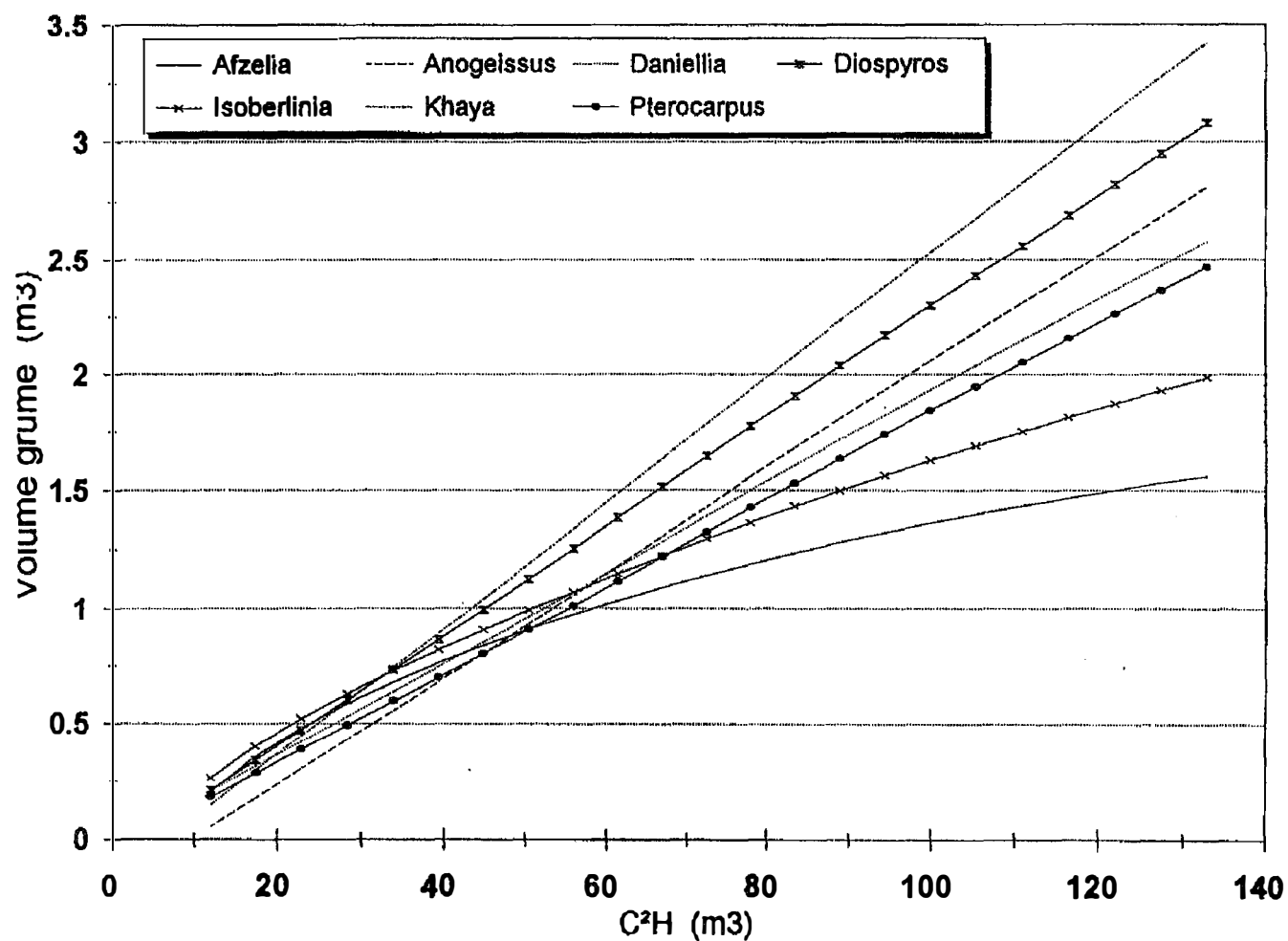
### Comparaison de différentes espèces



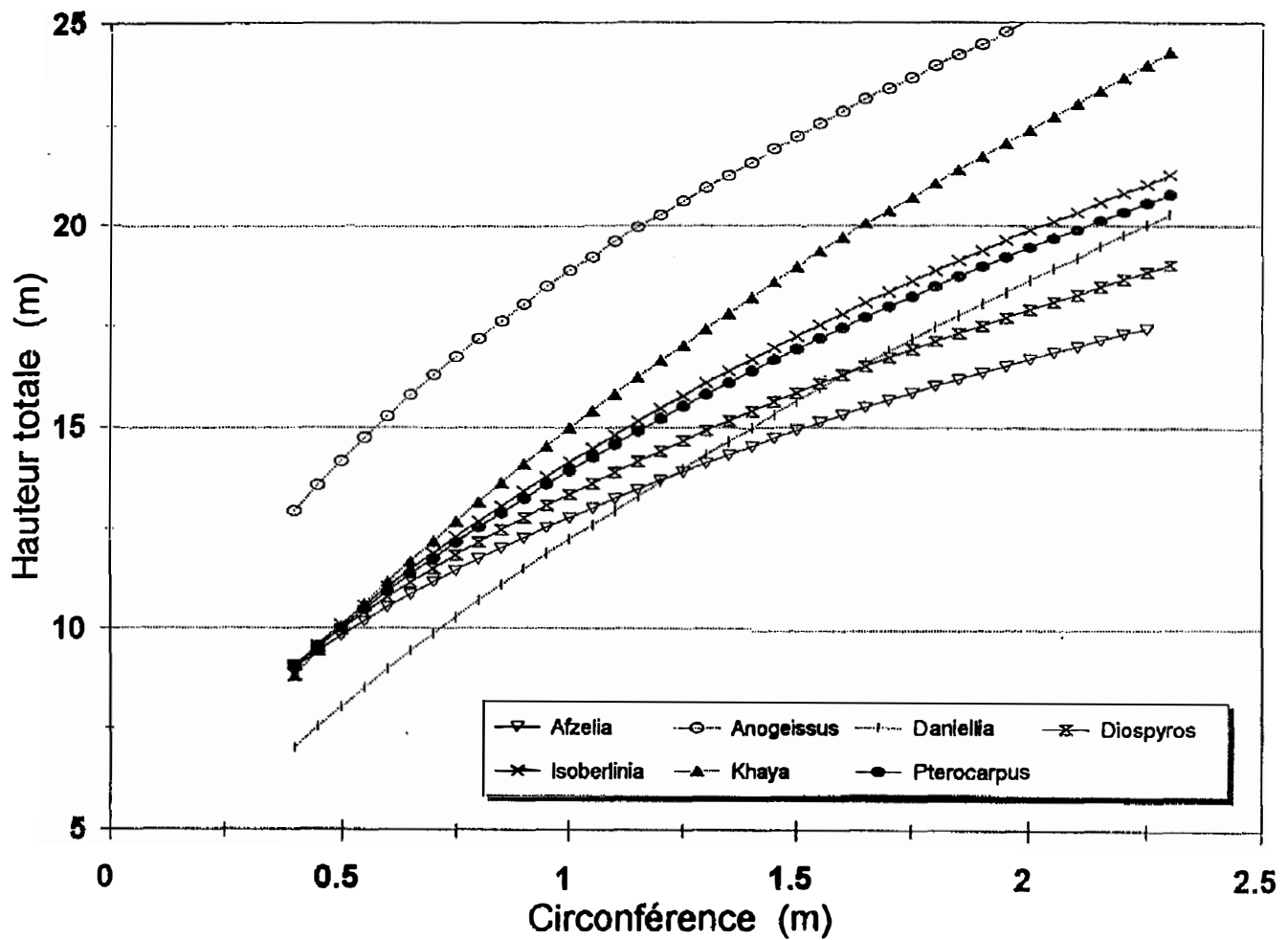
**Volume total = f ( C<sup>2</sup> et hauteur totale )**  
**Comparaison des différentes espèces**



# **Tarifs de cubage à deux entrées : volume grume** **Comparaison des différentes espèces**

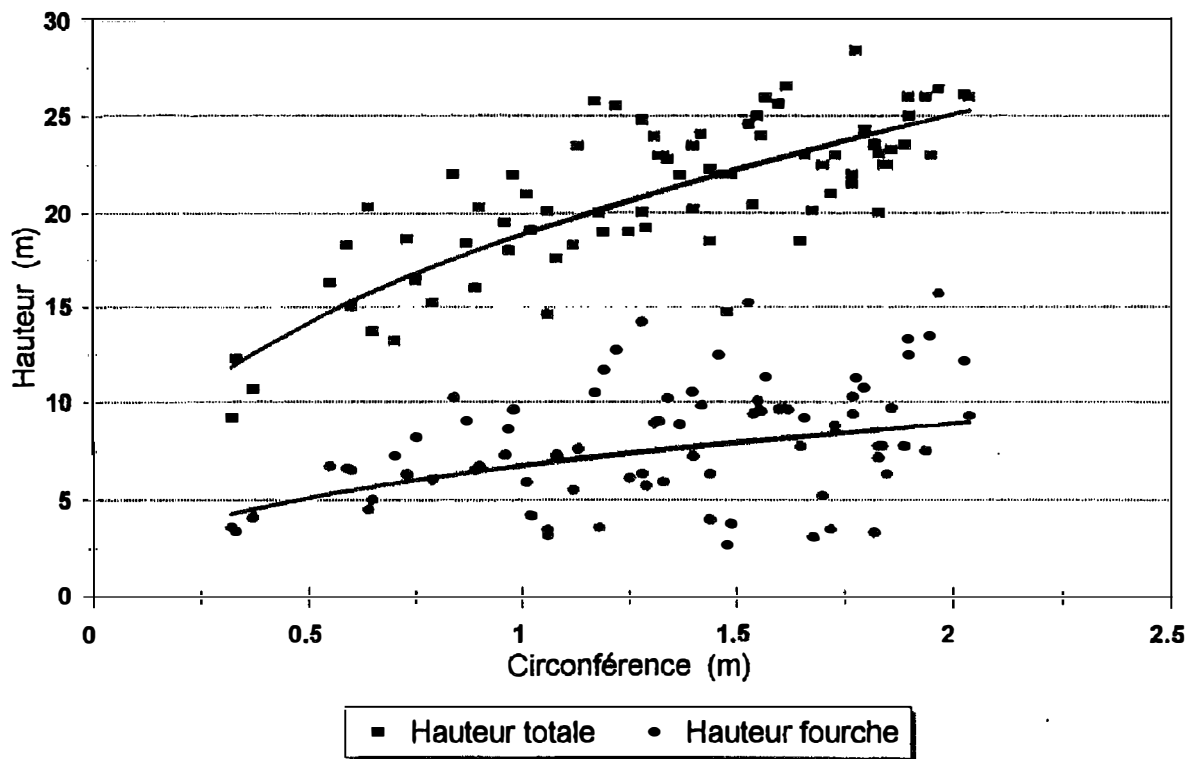


**Relations circonférence à 1,30 m / hauteur totale  
pour les 7 essences principales  
de la forêt de Badénou**

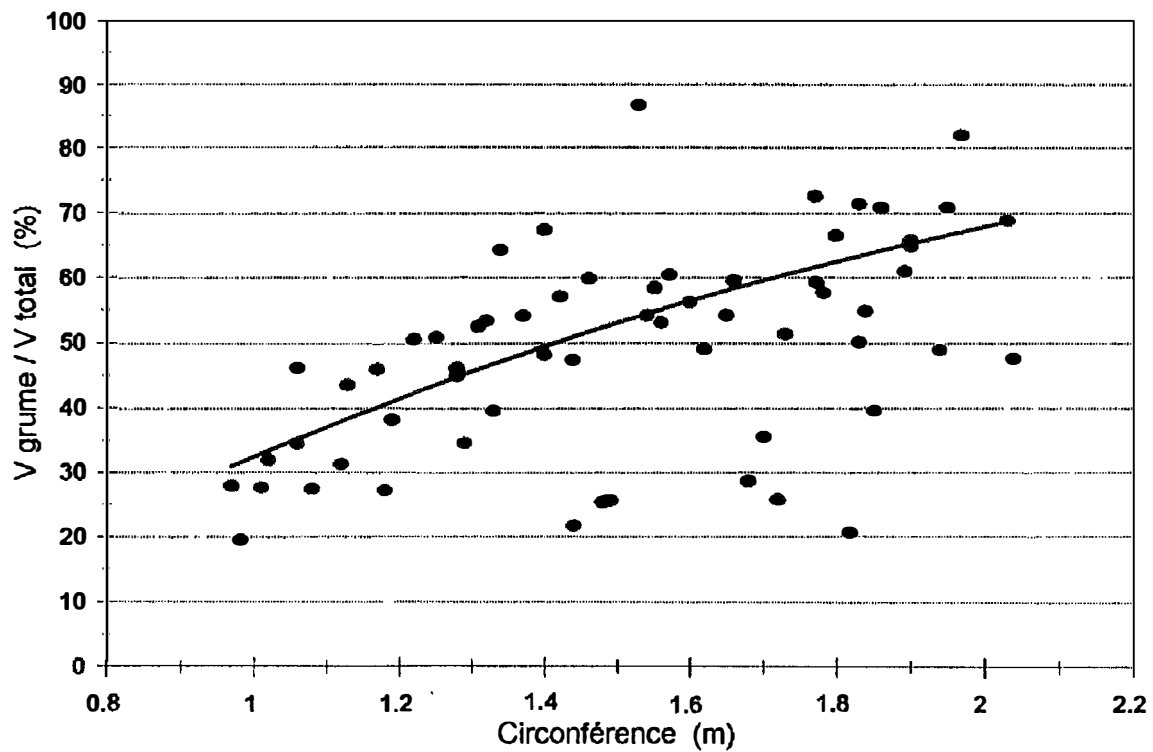


# *Anogeissus leiocarpus*

## Relations circonférence - hauteur

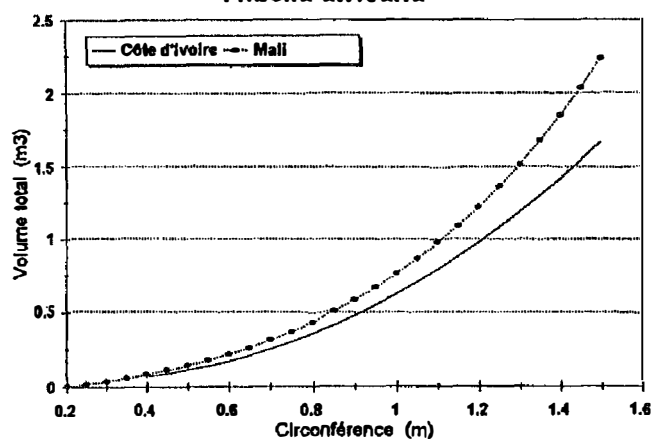


## Rapport volume grume / volume total

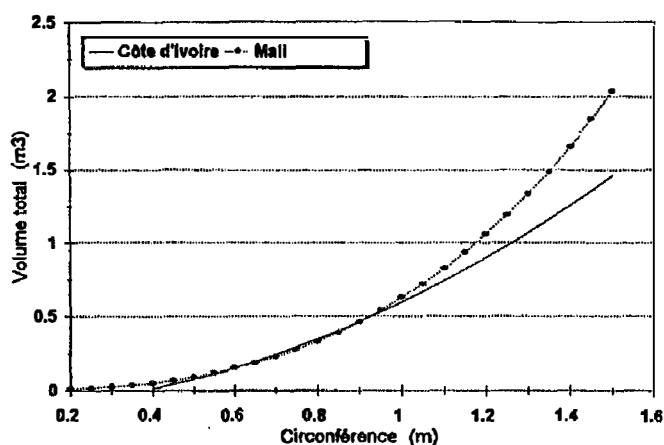


## Comparaison des tarifs établis à Badénou avec ceux du sud-Mali

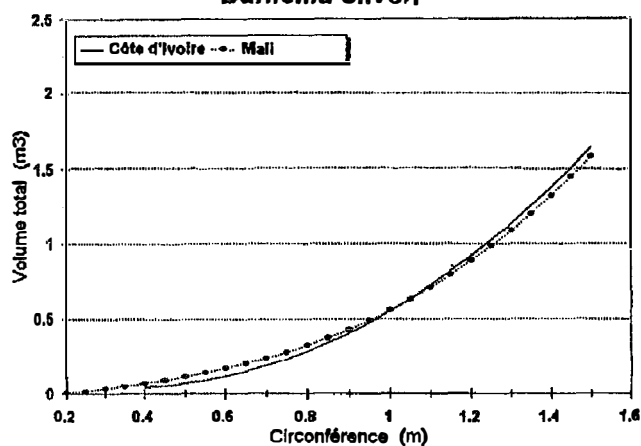
*Azella africana*



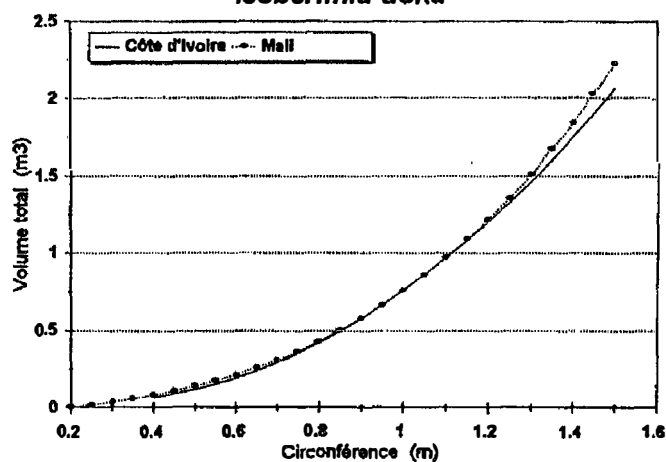
*Bombax costatum*



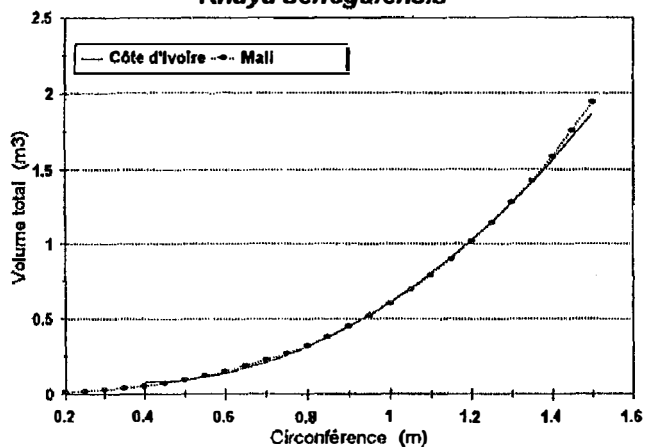
*Daniellia oliveri*



*Isobertlinia doka*



*Khaya senegalensis*



*Pterocarpus erinaceus*

